

**Ю.В. ПОПАДИНЕЦ**, руковод. проекта, ООО «ПиВи», Свалява,  
**Д.А. СИДОРОВ**, науч. сотруд., ООО «ПиВи», Свалява

## **ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ НИКЕЛЕВОЙ ЛИЦЕВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ФЭП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ЗАЩИТНЫХ МАСОК**

У статті описана методика нанесення малюнка нікелевій металізації на поверхню кремнієвих ФЭП з використанням різних матеріалів, таких як фоточутлива захисна маска Elpemer SD 2054, парафіновий композит, тонер лазерного принтера в якості захисної маски при нанесенні. Показана можливість застосування як фоторезистивної технології, так і терморезистивної і офсетного друку маски на восковій основі, як дешевої альтернативи фоторезистивним покриттям

В статье описана методика нанесения рисунка никелевой металлизации на поверхность кремниевых ФЭП с использованием различных материалов, таких как фоточувствительная защитная маска Elpemer SD 2054, парафиновый композит, тонер лазерного принтера, в качестве защитной маски при нанесении. Показана возможность применения как фоторезистивной технологии, так и терморезистивной и офсетной печати маски на восковой основе, как дешевой альтернативы фоторезистивным покрытиям.

The article describes the technique of the application of the nickel metal coating at the surface of the silicon photovoltaic cells with the use of the different materials such as photosensitive protective coating Elpemer SD 2054, paraffin composite material and the laser printer toner. The possibility for the application of the photoresistive technology as well as the thermoresistant and offset printing of the coating on the wax basis is shown, as the cheaper alternative for the photoresistant coatings.

### **Введение.**

Значительное улучшение эффективности кремниевых солнечных элементов может быть достигнуто путем формирования пассивирующего слоя на верхней стороне [1].

Основной задачей пассивирующего слоя является пассивирование поверхности кремния, а также уменьшение радиационных потерь путем просветления [1, 3, 4]. Электрохимический подход по металлизации кремниевых фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) позволяет удешевить процесс металлизации за счет замены дорогостоящего серебра на медь-олово-никель, а также повысить КПД ФЭПов за счет пониженных потерь на последовательное сопротивление контактов а также уменьшения рекомбинационных процессов в приконтактной области.

В данной статье представлен процесс металлизации, который не требует отжига, или позволяет проводить отжиг при температурах не более 400 °С.

Данный процесс основан на процессе нанесения защитной маски методом термопереноса, офсетной печати и фотолитографии для нанесения тонких дорожек химического никеля с низким сопротивлением контакта к кремниевой пластине, пассивированной по стандартной промышленной технологии.

Технология нанесения лицевого контакта оценивалась независимо от тыльного контакта кремниевой пластины.

Для нанесения тыльного контакта была использована стандартная технология напыления алюминия.

Никель является сильным кандидатом для формирования лицевых контактов, благодаря своим физическим свойствам и способности к избирательному нанесению на кремний [5].

Химическое никелирование заключается в селективном осаждении металла на поверхности катализатора путем погружения в электролит. Процесс основан на химическом восстановлении никеля на поверхности чистого кремния, выступающего в роли катализатора. В качестве химического восстановителя используется гипофосфит натрия –  $\text{NaH}_2\text{PO}_2\text{O}$ . В результате химического взаимодействия, на каталитической для данной реакции поверхности кремния происходит осаждение металлического никеля.

Для осаждения рисунка никелевых дорожек необходимо сформировать данный рисунок на поверхности кремниевой пластины, и удалить слой нитрида кремния ( $\text{SiN}_x$ ) используемый как антибликовое защитное покрытие, с покрываемых никелем участков.

Для реализации данной задачи применяют различные методики, такие как лазерная абляция [6], лазерная химической обработки (ЛХО) [7], травильные пасты [8], струйная печать рисунка [9] и т.д.

В данной работе мы показали возможность применения различных защитных масок для формирования рисунка никелевых контактов на лицевой поверхности фотоэлектрического преобразователя (ФЭП).

В качестве защитных масок были использованы – тонер лазерного принтера, раствор парафина, фоторезист Elpemer SD 2054.

### **Эксперимент.**

Процесс нанесения никеля включает в себя три основных этапа (рис. 1): нанесение защитной маски, формирующей рисунок никелевого покрытия;

удаление с открытых участков  $\text{SiN}_x$ ; нанесение никеля на открытые участки кремния.

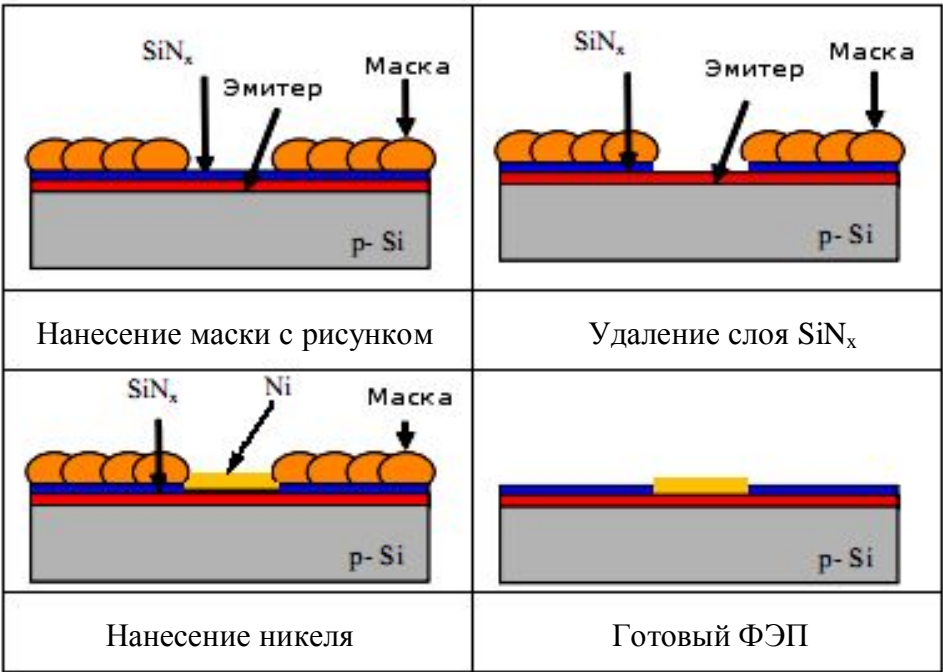


Рис. 1. Этапы нанесения никелевых токоволов

В качестве защитной маски, формирующей рисунок никелевого покрытия использовали три различных резиста – тонер лазерного принтера, раствор парафина, фоторезист Elpremer SD 2054.

Нанесение защитной маски с использованием тонера лазерного принтера производили следующим образом: необходимый рисунок распечатывался на специальной силиконизированной бумаге.

Полученный шаблон термопереносом наносился на защищаемую поверхность, давление около 2кгс/см<sup>2</sup>, температура – 120 – 130 °С.

Далее полученный рисунок отжигали при 140 – 150 °С в течении 5 мин.

Формирование рисунка офсетным нанесение раствора парафина производилось ракельным продавливанием через сетку с нужным рисунком.

Полученное покрытие просушивалось при 70 °С в течении 60мин.

Фоторезистная технология формирования рисунка включает в себя ряд последовательных этапов – нанесение фоторезиста поливом, сушка при 60 °С, экспонирование нужного рисунка, проявка в щелочном проявителе, промывка и сушка. Даная технология позволяет получить рисунок высокой точности (до 20 мкм).

Нанесение никеля производилось из раствора химического никелирования состава: 20 – 25 г/л  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 15 – 20 г/л  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 15 – 25 г/л  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ .

Рабочая температура раствора 60 – 70 °С. pH раствора регулируется до 8,5 – 9 добавлением 20 % раствора аммиака.

### Результаты и обсуждения.

Полученные образцы ФЭП (рис. 2) сильно отличаются по качеству. Так, образцы полученные путем терморезистивной защиты и офсетной печати раствора восковым раствором имеют ряд недостатков – формируемый рисунок не четкий, наблюдается осаждение никеля в местах, где должен лежать защитный слой. В случае терморезистивной технологии такой эффект можно объяснить только высокой зернистостью тонера. Для офсетной печати, мы предполагаем, основной недостаток в качестве исполнения шелкографического шаблона.

Образцы изготовленные по фоторезистивной технологии имеют высокое качество рисунка, четкое отображение всех контактных дорожек. Отсутствует нежелательное осаждение никеля на поверхности ФЭП.

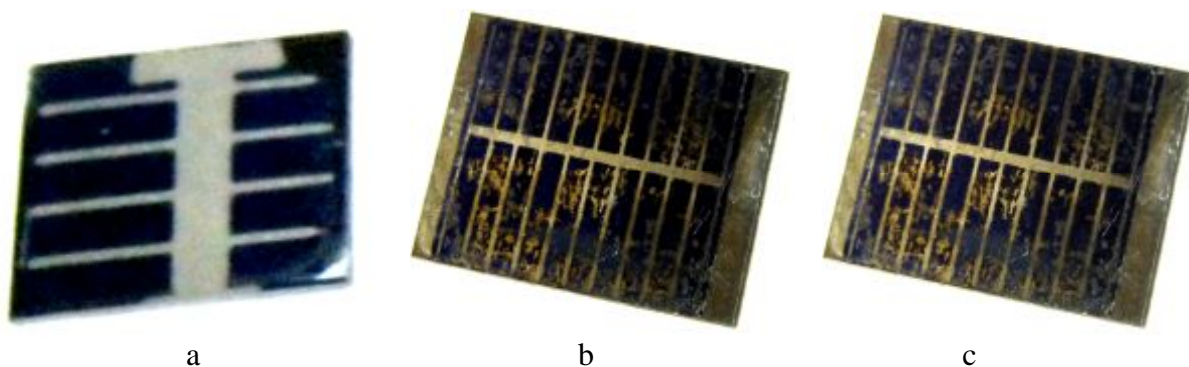


Рис. 2. Полученные образцы ФЭП, с нанесенным никелем:  
а) фоторезистивная технология, б) терморезистивная технология,  
с) офсетное нанесение раствора парафина.

Для всех полученных образцов (по три образца для каждой методики) проведено измерение электрических характеристик.

Показано, что для все трех применяемых видов защитного покрытия электрические характеристики практически одинаковы (таблица).

На данный момент мы не можем четко объяснить такой большой ток кз (для фоторезистивной технологии), но наши эксперименты подтверждают

его наличие более  $40 \text{ мА/см}^2$ . Мы можем, предполагаем его наличие возникшими уровнями в запрещенной зоне полупроводника которые позволяют дополнительно и еще более эффективно преобразовывать излучение солнца в электричество с меньшими потерями на термализацию.

Таблица

Электрические характеристики образцов ФЭП, изготовленных с использованием различных маскирующих материалов при нанесении никеля

| Вид защитного покрытия   | Фоторезист |      |      | Терморезист |      |      | Офсетное нанесение |      |      |
|--------------------------|------------|------|------|-------------|------|------|--------------------|------|------|
| №                        | 1          | 2    | 3    | 2           | 3    | 3    | 1                  | 2    | 3    |
| OCV, В                   | 0,54       | 0,53 | 0,53 | 0,52        | 0,53 | 0,52 | 0,53               | 0,52 | 0,48 |
| $I_{кз}, \text{мА/см}^2$ | 45         | 47   | 48   | 38          | 42   | 35   | 38                 | 40   | 42   |
| Фактор заполнения        | 0,7        | 0,7  | 0,7  | 0,7         | 0,7  | 0,7  | 0,7                | 0,7  | 0,7  |

В тоже время видно, что при использовании фоторезистной технологии нанесения данные в пределах трех образцов более воспроизводимы и являются наивысшими. Значительно худшая воспроизводимость для офсетной и терморезистной технологии объясняется нежелательным нанесением никеля на поверхность ФЭП, что приводит к значительному снижению токовых характеристик.

### Выводы.

В данной статье описан ряд технологических методов нанесения никелевых тоководов на лицевую сторону ФЭП. Показана возможность применения как фоторезистивной технологии, так и терморезистивной и офсетной печати маски на восковой основе.

В тоже время показано, что образцы полученные по фоторезистивной технологии имеют значительно более высокое качество и лучшие характеристики. Однако использование фоторезистов для производства ФЭП является очень дорогой технологией.

В тоже время показана потенциальная эффективность офсетной технологии с использованием парафиновой маски и терморезистной технологии.

При этом мы считаем, что офсетная технология является более перспективной, поскольку позволяет уменьшить количество необходимых технологических этапов, защита торцевой поверхности, за счет использования жидкой маски.

**Список литературы:** 1. *Glunz W.* Comparison of different dielectric passivation layers for application in industrially feasible high-efficiency crystalline silicon solar cells / [W. Glunz, A. Grohe, M. Hermle et al.] // 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, 6-10 June 2005: Proceedings. – München: WIP-Renewable Energies, 2005. – P. 572 – 577. – Режим доступа: [http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/konferenzbeitraege/2005-1/20th-european-photovoltaic-solar-energy-conference-barcelona/comparison-of-different-dielectric-passivation-layers-for-application-in-industrially-feasible-high-efficiency-crystalline-silicon-solar-cells/at\\_download/file](http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/konferenzbeitraege/2005-1/20th-european-photovoltaic-solar-energy-conference-barcelona/comparison-of-different-dielectric-passivation-layers-for-application-in-industrially-feasible-high-efficiency-crystalline-silicon-solar-cells/at_download/file). 2. *Gautero L.* Characterisation of Aluminium screen-printed local contacts / [L. Gautero, F.S. Grasso, J. Rentsch, R. Lanzafame] // Proceedings of the 2nd Workshop on Metallization for Crystalline Silicon Solar Cells. – P. 15 – 21, Konstanz, 2010. – Режим доступа: [http://kops.ub.unikonstanz.de/volltexte/2010/12677/pdf/proceedings\\_metallization.pdf](http://kops.ub.unikonstanz.de/volltexte/2010/12677/pdf/proceedings_metallization.pdf). 3. *Hofmann M.* PECVD-ONO: A New Deposited Firing Stable Rear Surface Passivation Layer System for Crystalline Silicon Solar Cells / [M. Hofmann, S. Kambor, C. Schmidt et al.] // Advances in OptoElectronics. – 2008. – Vol. 18. – 10 p. – Режим доступа: <http://www.hindawi.com/journals/aoe/2008/485467/>. 4. *Schaper M.* 20.1 %-efficient crystalline silicon solar cell with amorphous silicon rear-surface passivation / [M. Schaper, J. Schmidt, H. Plagwitz, R. Brendel] // Progress in Photovoltaics Research and Applications. – 2005. – Vol. 13. – P. 381 – 386. 5. *Coleman M.G.* Nickel silicide contact for silicon solar cells / [M.G. Coleman, W.L. Bailey, R.A. Pryor] // Photovoltaic Specialists Conference, 13th, Washington, D.C., June 5-8, 1978, Conference Record. (A79-40881 17-44) New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 1978. – P. 597 – 602. 6. *Knorz A.* Selective laser ablation of SiNx layers on textured surfaces for low temperature front side metallizations / [A. Knorz, M. Peters, A. Grohe et al.] // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. – 2009. – Volume 17, Issue 2. – P. 127 – 136. – Режим доступа: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.856/pdf>. 7. *D. Kray*, Industrial LCP selective emitter solar cells with plated contacts / [D. Kray, N. Bay, G. Cimiotti et al.] // 33-th IEEE Photovoltaics Specialists Conference, San Diego 2008. – RENA GmbH, Gütenbach, Germany, 2009. – P. 667 – 671. – Режим доступа: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=5616896](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5616896). 8. *Baehr M.* A new approach for the front side metallization of industrial type silicon solar cells using a structurization by etching / [M. Bähr, S. Kim, S. Sridharan.] // Presented at the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, September 3-9, 2007. – Milan: Italy. – Режим доступа: [http://www.ferro.com/non-cms/ems/solar/technical/2DO\\_2\\_2.pdf](http://www.ferro.com/non-cms/ems/solar/technical/2DO_2_2.pdf). 9. *Fallisch, A.* Inkjet Structured EWT Silicon Solar Cells with Evaporated Aluminum Metallization and Laser-Fired Contacts for solar cell production / [A. Fallisch, D. Stüwe, R. Neubauer et al] // Presented at the 35th IEEE PVSC, June 25, 2010, Honolulu, Hawaii, USA. – Режим доступа: [http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/nach-jahrgaengen/2010/veroeffentlichungen/inkjet-structured-ewt-silicon-solar-cells-with-evaporated-aluminum-metallization-and-laser-fired-contacts/at\\_download/file](http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/nach-jahrgaengen/2010/veroeffentlichungen/inkjet-structured-ewt-silicon-solar-cells-with-evaporated-aluminum-metallization-and-laser-fired-contacts/at_download/file).

Поступила в редколлегию 21.09.11